

Tadeusz BOŁD, Janusz DOBRZAŃSKI, Piotr MILIŃSKI
Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice

METODY OCENY TRWAŁOŚCI RESZTKOWEJ ELEMENTÓW URZĄDZEŃ KOTŁOWYCH DO STOSOWANIA W KRAJOWEJ ENERGETYCE

Streszczenie. Omówiono czynniki determinujące sposób rozwiązywania zagadnień trwałości resztkowej. Dokonano podziału i przeprowadzono klasyfikację metod oceny trwałości resztkowej. Na podstawie własnych badań laboratoryjnych i prowadzonych bezpośrednio na obiektach dokonano wyboru metod oceny do stosowania w warunkach energetyki krajowej. Omówiono podstawowe elementy systemu oceny stanu i przewidywania okresu dalszej bezpiecznej eksploatacji elementów ciśnieniowych kotłów wysokoprężnych pracujących w warunkach pełzania.

ADAPTATION OF THE METHODS FOR THE RESIDUAL LIFE ESTIMATION OF HIGH PRESSURE BOILERS USED IN THE POLISH POWER PLANTS

Summary. Factors affecting residual life of the pressure boiler parts have been discussed. Various methods used for the estimation of the residual life were systematically qualified and classified. Based on the experimental results and industrial tests the methods best suited for the polish power plants were selected. The proposal of the system estimating the condition and prediction further safe service of steam boilers and steam pipelines has been given.

METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER RESTLEBENSDAUER VON KESSELANLAGEN ELEMENTEN IN BEDINGUNGEN DER EINHEIMISCHEN ENERGETIK

Zusammenfassung. Die Einteilung und Klassifikation von Beurteilungsmethoden der Restlebensdauer wurde durchgeführt. Anhand eigener Labor- und Betriebsversuche direkt an Anlagen wurden Methoden zur Beurteilung der Restlebensdauer in Bedingungen der einheimischen Energetik ausgewählt. Grundelemente des Zustandsbeurteilungssystems und Prognosierung

der Zeitdauer des gefahrlosen Betriebs von Druckbauteilen in Hochdruckkesseln, die in Zeitstandsbedingungen arbeiten, wurden besprochen.

1. WSTĘP

Elementy wysokotemperaturowych i wysokociśnieniowych instalacji energetycznych i petrochemicznych są projektowane według przepisów, które mają na celu zapewnienie określonej, dużej trwałości. Elementy konstrukcyjne pracujące w tych warunkach ulegają ciągłym zmianom powierzchniowym, wewnętrznym zmianom materiałowym oraz zmianom wskutek procesów utleniania i korozji. Zachodzące zmiany powodują ustawiczną degradację materiału i w konsekwencji jego uszkodzenie. Do podstawowych przyczyn uszkodzeń należą:

- pełzanie,
- zmęczenie niskocyklowe i cieplne,
- agresywność środowiska,
- rozwiązania konstrukcyjno–projektowe,
- technologia wykonania.

Dla elementów pracujących w obszarze kotła główną przyczyną powstawania uszkodzeń jest zjawisko pełzania. W obszarze turbiny oprócz pełzania jako odpowiedzialne w równym stopniu za uszkodzenia jest występujące niskocyklowe zmęczenie.

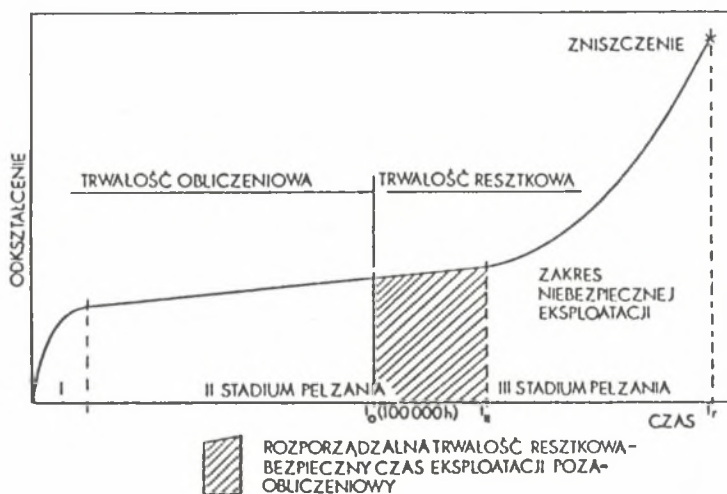
Wydawać by się mogło, że elementy instalacji kotłowych będą pracowały tylko przez okres trwałości obliczeniowej lub niewiele dłużej. Doświadczenie jednak temu przeczy – istnieje wiele instalacji, które pracują bezpiecznie po znacznym przekroczeniu trwałości obliczeniowej. Można więc wydzielić dwa odrębne okresy trwałości eksploatacyjnej (rys. 1):

- a) pierwotną trwałość eksploatacyjną (w typowym przypadku 100 000 godzin),
- b) rozporządzalną trwałość resztkową rozumianą jako bezpieczny czas dalszej eksploatacji w rzeczywistych warunkach pracy.

Podstawowym problemem do rozstrzygnięcia jest nie tylko stwierdzenie możliwości przedłużenia eksploatacji poza czas obliczeniowy, ale przede wszystkim nadanie liczbowego wymiaru czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji w zależności od stanu materiału i rzeczywistych warunków pracy analizowanego elementu.

Sposób rozwiązania zagadnień trwałości resztkowej elementów konstrukcyjnych, jak również całych instalacji determinują następujące czynniki:

- charakter i znaczenie obiektu,
- ekonomiczne konsekwencje postojów remontowych lub nieplanowanego zamknięcia,
- bezpieczeństwo i ekonomiczne konsekwencje uszkodzeń obiektu.



Rys. 1. Zakresy trwałości eksploatacyjnej

Fig. 1. Parts of service life

Długotrwałe oddziaływanie podwyższonej temperatury i ciśnienia wywołuje w materiale równoległe występowanie trzech podstawowych procesów:

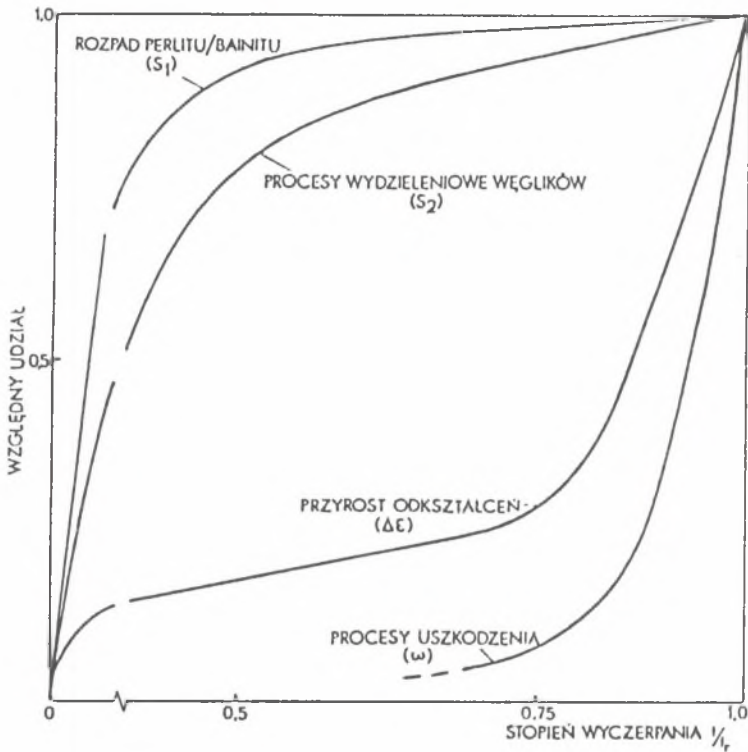
- zmian struktury w porównaniu ze stanem wyjściowym,
- przyrostu odkształceń,
- rozwoju uszkodzeń.

Względne udziały tych procesów zachodzące w materiale aż do jego zniszczenia ilustruje rys. 2.

Wśród elementów niezbędnych do oceny stanu materiału i rzetelnej prognozy dalszego bezpiecznego okresu eksploatacji należy wyróżnić:

- dane wyjściowe dotyczące własności i struktury materiału,
- dane wyjściowe dotyczące geometrii elementów konstrukcyjnych,
- dane dotyczące własności i struktury materiału w eksploatacji lub po eksploatacji,
- dane eksploatacyjne.

Wymagania eksploatacyjne, jak i przepisy bezpieczeństwa powodują konieczność systematycznego badania i kontroli instalacji w czasie pracy i po pracy w celu jej oceny zapewniającej bezpieczeństwo i niezawodność. Jest to dziedzina, w której w okresie ostatnich dwudziestu lat prowadzi się szereg prac badawczych w wielu zagranicznych i kilku krajowych ośrodkach naukowo-ba-



Rys. 2. Zmiany struktury materiału w procesie pełzania

Fig. 2. Microstructural changes of material during creep

dawczych. Również takie badania są prowadzone od kilkunastu lat przez Instytut Metalurgii Żelaza.

Poniżej przedstawiono metody oceny stanu materiału i metody określania trwałości resztkowej elementów wykonanych z niskostopowych stali Cr-Mo-V/ po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania w obrębie kotła, wybrane i zweryfikowane własnymi badaniami. Równocześnie omówiono w ogólnym zarysie opracowany system stanu materiałów po eksploatacji i przewidywania okresu dalszej bezpiecznej eksploatacji poza czas obliczeniowy tych elementów.

2. OGÓLNA KLASYFIKACJA METOD OCENY TRWAŁOŚCI RESZTKOWEJ

Stosowane dotychczas metody oceny trwałości resztkowej można podzielić na dwie grupy:

- 1) metody polegające na badaniach i próbach materiałów po eksploatacji, wymagające bezpośredniego dostępu do elementu, pobrania próbki i dokonania pomiarów,
- 2) metody polegające na gromadzeniu i kontroli parametrów ruchowych w celu dokonania obliczeń przy wykorzystaniu standardowych danych materiałowych i reguły ułamków trwałości.

W praktyce istnieje wiele stadiów pośrednich, które charakteryzują się wykorzystaniem łącznie metod zakwalifikowanych do obydwu grup. Umożliwia to trafniejszą ocenę trwałości niż w przypadku zastosowania metod właściwych dla jednej z tych grup.

2.1. Metody oceny trwałości resztkowej oparte na badaniach materiałów po eksploatacji

Badania materiału po eksploatacji wymagają zwykle bezpośredniego dostępu do elementu. Pozwalają one na dokładną ocenę stopnia wyczerpania i stopnia uszkodzenia badanego elementu. Badania te nie wymagają znajomości historii warunków pracy, a w szczególności naprężeń i temperatury. Nie występuje ponadto konieczność wykorzystania standardowych danych materiałowych.

Metody zakwalifikowane do tej grupy mogą być zarówno niszczące, jak i nieniszczące, a wybór ich kombinacji zależy od rodzaju elementu, położenia miejsc najbardziej wyczerpanych oraz od czynników ekonomicznych. Niektóre z tych metod są stosowane na bieżąco w sposób niezawodny, a inne są wciąż dopracowywane. Stosowane metody badań materiałów po eksploatacji wymagają zwykle pobrania próbek z instalacji sposobami niszczącymi, tak że powstałe ubytki materiału wymagają naprawy przez spawanie. Ze względu na miniaturyzację próbek w niektórych przypadkach możliwe jest pobranie próbek w sposób wymagający jedynie wyrównania powierzchni. Znane są również nieniszczące metody badań materiałów po eksploatacji dokonywane bezpośrednio na zainstalowanych elementach urządzeń kotłowych.

W grupie metod oceny trwałości resztkowej polegających na badaniach materiałów po eksploatacji można wyróżnić:

- próby pełzania,
- statyczne, udarowe i zmęczeniowe badania mechaniczne,
- badania metalograficzne i strukturalne,
- badania własności fizycznych,
- ocenę odkształceń lub szybkości odkształceń elementu.

2.2. Metody oceny trwałości resztkowej oparte na rejestracji i kontroli parametrów pracy i obliczeniach na podstawie standardowych charakterystyk

Metody obliczeniowe oceny trwałości resztkowej chętnie są stosowane przez eksploatatorów urządzeń energetycznych. Szczególnie dotyczy to krajów, które nie dysponują pełnym zakresem informacji dotyczących zachowania się materiałów stosowanych na urządzenia energetyczne po długich okresach eksploatacji uzyskanych metodami zaliczanymi do grupy metod wymienionych w punkcie 2.1.

Metody obliczeniowe polegają na obliczaniu trwałości resztkowej na podstawie dostępnych zapisów temperatury i ciśnienia roboczego, przy wykorzystaniu standardowych danych dotyczących pełzania materiału i obliczonych naprężeń w połączeniu z regułą ułamków trwałości Robinsona. Wśród metod obliczeniowych można wyróżnić metody oparte na:

- wynikach prób pełzania materiału w stanie wejściowym,
- wynikach prób pełzania po eksploatacji,
- charakterystykach własności na pełzanie oraz niskocyklowego zmęczenia.

3. WYBÓR METOD OCENY DO STOSOWANIA W WARUNKACH ENERGETYKI KRAJOWEJ

Analiza przytoczonych metod oceny trwałości resztkowej wykazała potrzebę stosowania zintegrowanych sposobów postępowania polegających na połączeniu obliczeń na podstawie standardowych danych materiałowych i analizy stanu wyężenia, np. metodą elementów skończonych, oraz metod polegających na badaniach i próbach materiału po eksploatacji. Przyjęcie takiego sposobu postępowania spowodowało podjęcie badań i prób pełzania wytypowanych niskostopowych stali Cr–Mo–V/ (najczęściej stosowanych) w stanie wyjściowym, a także po eksploatacji w różnym czasie, aby stworzyć reprezentatywny bank danych standardowych możliwych do wykorzystania w metodach obliczeniowych oraz danych po eksploatacji do wykorzystania w innych metodach. Metody obliczeniowe opierające się na danych standardowych są niezbędne do wstępnej oceny miejsc o największym wyężeniu oraz przybliżonej oceny trwałości resztkowej. W celu bardziej trafnej oceny należy wykorzystywać wyniki bezpośrednich badań niszczących i nieniszczących elementów po długotrwałej eksploatacji, tworząc charakterystyki materiałów po eksploatacji o różnym stopniu wyeksploatowania, a w konsekwencji reprezentatywny bank danych w tym zakresie.

Należy stwierdzić, że ciągła kontrola wyężenia i warunków pracy całej instalacji metodą „of-line” z użyciem odpowiednio oprogramowanych komputerów w połączeniu z metodami nieniszczącymi, a głównie oceną stanu uszkodzenia przy użyciu replik, oceną stanu wyczerpania na podstawie twardości i

wielkości odkształceń uzupełnione przyspieszonymi próbami pełzania oraz wiarygodnymi charakterystykami materiałowymi dla stanu wyjściowego i po długotrwałej eksploatacji, wydaje się dawać najlepsze i najpewniejsze wyniki oceny stanu materiału i prognozy trwałości resztkowej. W zakresie ciągłej kontroli wytężenia i warunków pracy instalacji stosowanie powyżej podanego sposobu podejścia jest obecnie ograniczone do kontroli i rejestracji niektórych parametrów pracy w sposób quasi-ciągły i nie zawsze z zastosowaniem rejestracji komputerowej.

W celu stworzenia podstaw do praktycznego stosowania metod oceny trwałości resztkowej i umożliwienia bezpiecznego przedłużenia pracy istniejących urządzeń i instalacji pracujących w warunkach pełzania Instytut Metalurgii Żelaza prowadzi od wielu lat badania w tym zakresie. Dlatego też kolejne prace o problematyce trwałości resztkowej dotyczyły następujących metod i kierunków:

- 1) prób pełzania do zerwania materiału w stanie wyjściowym i po długotrwałej eksploatacji w celu opracowania parametrycznych krzywych pełzania dla poszczególnych gatunków stali,
- 2) przyspieszonych prób pełzania do zerwania materiału w stanie wyjściowym i po długotrwałej eksploatacji: przy stałym naprężeniu, w stałej temperaturze,
- 3) prób pełzania z pomiarem odkształcenia prowadzonych w stałej temperaturze i przy stałym naprężeniu o różnych wartościach celem określenia prędkości pełzania w stanie ustalonym,
- 4) prób pełzania z pomiarem odkształceń prowadzonych w stałej temperaturze i przy stałym naprężeniu o różnych wartościach, do zerwania celem wyznaczenia zależności Monkmana–Granta i Dobesa–Milickiego,
- 5) nieniszczących badań metalograficznych na przekrojach w różnych punktach uogólnionych parametrycznych krzywych wytrzymałości na pełzanie poszczególnych gatunków stali celem:
 - identyfikacji i określenia zakresów występowania poszczególnych rodzajów węglików,
 - poszukiwania korelacji pomiędzy czasową wytrzymałością na pełzanie po długotrwałej eksploatacji a parametrami struktury,
 - badania zmian udziału niektórych pierwiastków stopowych w osnowie i wydzieleniach a własnościami materiału w stanie wyjściowym i po próbach pełzania oraz po eksploatacji i próbach pełzania,
- 6) nieniszczących badań metalograficznych na replikach matrycowych w celu określenia stopnia uszkodzenia elementów po eksploatacji w różnych stadiach pełzania w porównaniu z zamodelowanym stopniem uszkodzenia w wyniku prób pełzania materiału w stanie wyjściowym,
- 7) badań na replikach matrycowych z dużych powierzchni elementów po długotrwałej eksploatacji oraz rozkładu pęknięć na grubości elementu,

- 8) badań replik ekstrakcyjnych z powierzchni materiałów po eksploatacji celem identyfikacji węglików i określenia miejsc ich występowania,
- 9) sprawdzenia przydatności metody oceny stopnia wyczerpania opartej na regule ułamków trwałości Robinsona, na materiale po eksploatacji oraz eksploatacji i próbach pełzania,
- 10) badań odkształceń plastycznych na laboratoryjnych próbach pełzania oraz w warunkach ruchowych na czopach pomiarowych i otworach.

Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań stwierdzono przydatność w praktyce:

I. W zakresie czasowej wytrzymałości na pełzanie:

1. prób pełzania do zerwania bez pomiaru wydłużenia prowadzonych do ok. 10000 h w przedziale temperatury w pobliżu temperatury pracy przy naprężeniach wyższych od eksploatacyjnych i ich rezultatów ujętych w postaci uogólnionej parametrycznej krzywej pełzania ekstrapolowanej w kierunku poziomym naprężeń odpowiadających eksploatacyjnym. Zastosowanie w ograniczonym zakresie, tzn. w przypadku możliwości pobrania próbek lub mikropróbek do badań pełzania. Nie wymaga znajomości historii eksploatacji;
2. przyspieszonych prób pełzania materiału po eksploatacji prowadzonych w temperaturze wyższej od temperatury eksploatacji przy stałym naprężeniu odpowiadającym parametrom dalszej pracy badanego elementu prowadzonych do ok. 1000 h (czasem 10 000 h). Wyznaczenie odpowiednio trwałości resztkowej i resztkowej trwałości rozporządzalnej. Nie wymaga znajomości historii pracy i warunków dotychczasowej eksploatacji elementu. Metoda przydatna w szczególności w okresie eksploatacji, w którym procesy uszkodzenia nie występują lub nie są zbyt zaawansowane;
3. opracowanych charakterystyk minimalnej resztkowej wytrzymałości na pełzanie materiałów po eksploatacji nie wykazujących zapoczątkowania uszkodzenia w postaci uogólnionej krzywej parametrycznej $\log R_{z_{\min}} = f(L(tr, T))$ oraz rodziny krzywych $\log R_{z_{\min}} = f(\log t_r)$ w $T = \text{const}$ dających możliwość dokonania oceny stanu materiału i prognozy trwałości resztkowej metodą nieniszcząca.

II. W zakresie prędkości pełzania w stanie ustalonym:

1. metody prognozowania trwałości rozporządzalnej oraz trwałości resztkowej przy użyciu empirycznej zależności Monkmana–Granta, opracowanej na podstawie prób pełzania, wymagającej wyznaczenia szybkości pełzania w stanie ustalonym eksploatowanego materiału elementu metodą nieniszcząca za pomocą pomiaru odkształceń w założonym przedziale czasu eksploatacji;
2. metody prognozowania maksymalnego odkształcenia odpowiadającego zniszczeniu materiału przy użyciu empirycznej zależności Dobesa–Miliciego wyznaczonej na podstawie prób pełzania, wymagającej wyznaczenia

szybkości pełzania w stanie ustalonym eksploatowanego materiału elementu metodą nieniszczącą przez pomiary jego odkształcenia w założonym przedziale czasu eksploatacji oraz równoczesnego wyznaczenia zależności Monkmana–Granta;

3. prób pełzania do zerwania z pomiarem wydłużenia w czasie trwania próby prowadzonych w stałej temperaturze i przy stałych naprężeniach o różnych wartościach do przewidywania udziału czasu II stadium pełzania w całkowitym czasie do zerwania, a także do ustalenia czasu i trwałego odkształcenia, po osiągnięciu których elementy wymagają specjalnego nadzoru oraz okresowo wykonywanych badań kontrolnych. Zastosowanie w ograniczonym zakresie, gdy można pobrać co najmniej minipróbki;
4. opracowanych charakterystyk szybkości pełzania w stanie ustalonym w zależności od temperatury i naprężenia materiałów w stanie wyjściowym i po eksploatacji dających możliwość dokonania oceny stanu materiału i wyznaczenia trwałości resztkowej i rozporządzalnej trwałości resztkowej metodą nieniszczącą;
5. ograniczone możliwości stosowania w praktyce obliczeniowej metody prognozowania trwałości resztkowej przy użyciu reguły ułamków trwałości Robinsona. Metoda jest nieprzydatna, zwłaszcza w warunkach krajowych, ponieważ nietrafność oszacowań wynika głównie ze znaczących, a nie zarejestrowanych wahań temperatury i naprężeń podczas eksploatacji, a także z nie znanej kolejności zmian naprężeń, odbiegających od nominalnej temperatury i nominalnego naprężenia, przyjętych w obliczeniach.

III. W zakresie badań na zglądach metalograficznych i bezpośrednich replikach matrycowych i ekstrakcyjnych:

1. metodyki badań metalograficznych w mikroskopie skaningowym elektro-nowym bezpośrednio na zglądach metalograficznych oraz przy użyciu replik organicznych do oceny stanu rozwoju procesów wydzieleniowych wę-glików oraz stanu uszkodzenia materiału elementu pracującego w warunkach pełzania po różnych okresach eksploatacji oraz do prognozowania dalszej bezpiecznej pracy. Warunkiem koniecznym trafności prognozy jest właściwy i niezawodny wybór miejsc, w których występuje największe wyciężenie. Stosowanie metody jest uwarunkowane dostępem do elementu celem wycięcia odpowiedniego wycinka na zgląd metalograficzny lub przygotowania powierzchni i pobrania repliki;
2. oryginalnej własnej metody oceny stanu uszkodzenia materiału elementów pracujących w warunkach pełzania, nawet we wczesnych stadiach uszkodzenia i prognozowania ich dalszej eksploatacji na podstawie badań frakto-graficznych w elektronowym mikroskopie skaningowym na przełomach próbek udarnościovych, złamanych w temperaturze -196°C . W przypadku gdy możliwe jest pobranie próbek z elementów w miejscach o największym wyciężeniu, posługiwanie się tą metodą jest najszybsze i najmniej kłopotli-

we. Metoda daje możliwości oceny rozwoju uszkodzeń na przekroju elementu;

3. charakterystyk trwałości resztkowej w zależności od stopnia zaawansowania rozwoju procesów wydzieleniowych przy równoczesnym rozpadzie podstawowych faz struktury w postaci zależności $\log R_{z_{emin}} = f(\log t_{ep})$ w $T=\text{const}$ lub $\log R_{z_{emin}} = f(L(T, t_{ep}))$ dających możliwość oceny metodami niszczącymi;
4. charakterystyk rozporządzalnej trwałości resztkowej w zależności od stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych przy równoczesnym rozpadzie podstawowych faz struktury oraz od stopnia rozwoju uszkodzenia w postaci zależności $\log R_{z_{0,6min}} = f(\log t_{0,6ep})$ w $T=\text{const}$ lub $\log R_{z_{0,6min}} = f(L(T, t_{0,6ep}))$ dających możliwość oceny trwałości resztkowej metodami nieniszczącymi;
5. sposobu klasyfikacji mikrostruktury materiału badanego elementu w zależności od: stopnia rozpadu podstawowych faz struktury, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych węglików, stopnia rozwoju uszkodzenia i stopnia wyczerpania opracowanego na podstawie badań własnych i danych literaturowych.

4. SYSTEM OCENY STANU I PRZEWIDYWANIA OKRESU DALSZEJ BEZPIECZNEJ EKSPLOATACJI ELEMENTÓW CIŚNIENIOWYCH KOTŁÓW WYSOKOPREŻNYCH PRACUJĄCYCH W WARUNKACH PEŁZANIA

Na podstawie analizy literaturowej znanych, proponowanych i stosowanych metod diagnostycznych oraz badań i doświadczeń własnych w zakresie prowadzenia badań diagnostycznych w warunkach ruchowych, metod badawczych i sposobów interpretacji ich wyników, prowadzonych na elementach urządzeń kotłowych będących w eksploatacji, opracowano system oceny stanu i przewidywania okresu dalszej bezpiecznej eksploatacji materiału elementów i elementów ciśnieniowych pracujących w warunkach pełzania.

Proponowany system oceny składa się z czterech kolejnych etapów:

- I etap – sposób postępowania przy ustalaniu przydatności do dalszej eksploatacji elementów ciśnieniowych oparty na parametrach obliczeniowych, rzeczywistych i standardowych danych materiałowych,
- II etap – sposób postępowania podczas dokonywania prognozy trwałości materiału badanych elementów,
- III etap – szczegółowy sposób wyboru i prowadzenia badań metaloznawczych przeznaczonych do badań elementów,
- IV etap – sposób postępowania dla wybranych rodzajów badań metaloznawczych stosowanych w diagnostyce elementów ciśnieniowych pracujących w warunkach pełzania.

W ramach każdego z etapów określono kolejne kroki, które umożliwiają właściwe postępowanie i właściwy dobór metod w zależności od rodzaju badanego elementu, dostępu do elementu, jego parametrów pracy, znajomości historii eksploatacji, czasu przeznaczanego na przeprowadzenie badań diagnostycznych i pomiarów na obiekcie, czasu na wydanie orzeczenia oraz innych czynników specyficznych dla elementu będącego przedmiotem pomiarów, badań i analizy. Opracowany system oceny stanu i przewidywania okresu dalszej bezpiecznej eksploatacji elementów kotłów wysokoprężnych pracujących w warunkach pełzania został wykorzystany w praktyce w kompleksowej diagnostyce kotłów OPG-230, OP-650 i BB-1150 pracujących w krajowej energetyce. Powyższe działania zostały podjęte wspólnie z Fabryką Kotłów „RAFAKO”.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Gerard KOSMAN

Wpłynęło do Redakcji 10. 08. 1994 r.

Abstract

Existing methods of remanent life assessment can be divided into two groups:

- methods based on post-service examination and testing of materials with direct access to the components, metallurgical sampling and measurements,
- methods based on acquisition and monitoring of service parameters in order to make calculations based on standard material data and the life fraction rule.

More than 15 years ago the Institute for Ferrous Metallurgy became engaged in this field in order to provide sound basis for practical application of remanent life assessment techniques and safe extension of service life of creep-exposed boiler components. Any reliable assessment of boiler components must be based on results of direct destructive and non-destructive post-service examinations of components with various degrees of life exhaustion i.e. on a representative data base for such characteristics.

Long-term creep tests are still the main source of information for remanent life prediction. This paper discusses methods proposed for:

- assessment of creep life,
- assessment of steady-state creep rate.

Metallographic examinations are another source of information on post-service damage of materials. Among methods practicable in Polish power industry the following should be mentioned:

- SEM examination of polished sections or organic replicas,
- SEM fractography of tests pieces broken at -196°C ,
- X-ray diffraction of carbide residues,
- SEM examination of extraction replicas.

The assessments are based on:

- data base relations of remanent/disposable life v.s. the degree of decomposition of principal structural phases, development of precipitation and the degree of damage,
- specially developed classification of structures related to the degree of exhaustion.

Results of remanent life studies carried out by the Institute for Ferrous Metallurgy and experience obtained during direct diagnostic investigations of boilers were used to draw up procedures and a sequence of application of various measurements and non-destructive examination techniques employed for assessment of remanent/disposable life. The procedure is based on calculations, tests and a data base containing characteristics of as-supplied and creep-exposed materials. The important factor in the procedure is selection of locations for measurements and sampling. This is done on the basis of stress and material effort analysis by means of the finite element method as well as on the basis of rich experience of boiler operators.

The system was used for comprehensive diagnosing of OPG-230 and OP-650 boilers working in Polish power stations.